

# 非対称積層板の残留変形に与える昇温速度の影響

## 1. 緒言

繊維強化プラスチック (FRP) は金属材料と比較して大型製品の成形性に優れている。その一方で、加熱成形後に成形型から取り外す際に、残留変形として反り返りが起こり意図した寸法からずれてしまうという問題がある。これを防ぐためには、まず成形過程で変形の発生する機構を明らかにしなくてはならない。本研究では、複数の温度パターンを用いて非対称積層板の成形を行い、生じる反りの計測を行った。さらに、反りの生じる機構を明らかにするために、屈折率ファイバセンサを埋め込んで硬化度測定を行った。

## 2. 実験

### 2.1 材料および試験片

本研究では、材料として厚さは  $120\mu\text{m}$  の GFRP プリプレグを用いて積層板を作製した。試験片は 0 度, 90 度繊維方向のものをそれぞれ 6 枚ずつ積層して 1 枚の非対称積層板とした。試験片は、長さ 120mm, 幅 30mm とした。

### 2.2 実験方法

試験片には真空引きを施しながら  $0.5\text{MPa}$  が常に加わるようにし、ホットプレスにて加熱加圧成形を行った。本研究では、硬化温度条件の比較を行うために、図 1 に示す 5 つの加熱温度パターンを用意した。試験片にはあらかじめ屈折率ファイバセンサと熱電対を埋め込み、温度と反射光量を記録した。そして、屈折率センサの出力から硬化度を求めた。

## 3. 実験結果および考察

図 2 に、横軸を計測位置、縦軸を計測変位として計測した残留変形を示す。図からも分かるように、T140 はその他の温度パターンよりも残留変形が大きいことが分かる。一方で T110, T120, TS の 3 つの試験片は、ほぼ同じ変形形状を示した。変位計から得られた値に最小 2 乗法による円の方程式への当てはめを行い、曲率半径を求めた。その結果を表 1 に示す。表 1 より、T140 はその他の温度パターンよりも曲率半径が小さいが、T110, T120, TS の曲率半径は互いにほぼ等しいことが分かった。以上のように、成形時の最高温度が同じであっても、温度パターンや加熱速度が異なると成形後の残留変形が異なることが分かった。この理由を、屈折率センサから得られた硬化度曲線を用いて考察する。

光ファイバセンサによって得られた反射光強度を用いることで、樹脂の硬化度 (Degree of Cure; DOC) を計算することが出来る。図 3 には代表として、T140, TS それぞれの硬化度曲線を温度と共に示す。T140 では、 $110^\circ\text{C}$  付近から硬化が始まり、 $133^\circ\text{C}$  で硬化度 0.9 に達して、ほぼ  $140^\circ\text{C}$  に到達するあたりで硬化が完了した。これに対して T110 と T120 については、 $110^\circ\text{C}$  または  $120^\circ\text{C}$  の定温区間において硬化が 1 に達していた。すなわち、T110 と T120 の試験片は、定温区間で硬化が完了し、 $140^\circ\text{C}$  への加熱では硬化はほとんど進展しない。よって、T110 と T120 は T140 よりも実質的な硬化温度が低いために、残留変形に影響を与える熱ひずみが小さくなったと思われる。一方、TS については、 $123^\circ\text{C}$  で硬化度 0.9 に達した後、 $129^\circ\text{C}$  で硬化が完了していた。すなわち、TS の実質的な硬化温度は T140 より  $10^\circ\text{C}$  ほど低いため、冷却時の熱変形も小さくなることが分かった。T110, T120, TS については硬化が完了する温度が異なるにも関わらず残留変形が等しくなったが、この理由についてはさらなる検討が必要である。

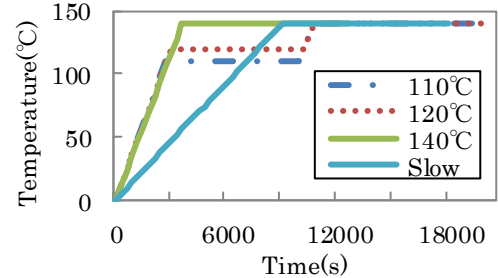


図 1 GFRP のホットプレス成形に対する温度パターン

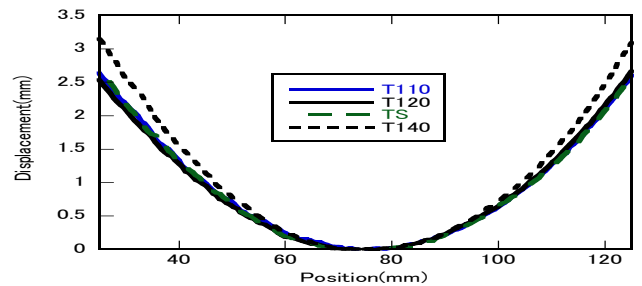
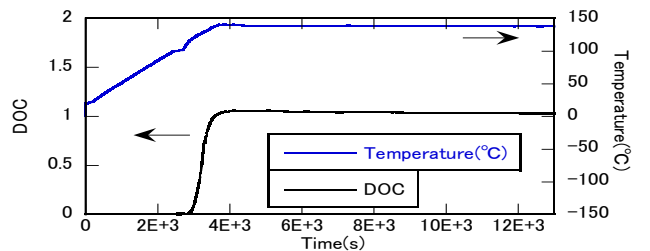


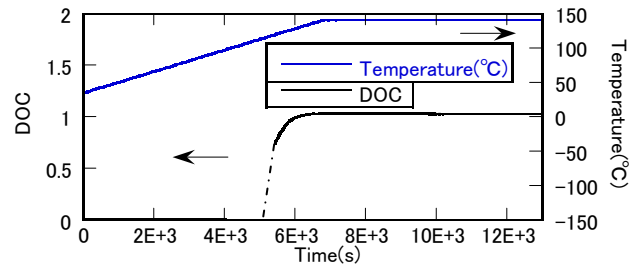
図 2 成形過程後の各々の温度パターンに対する積層板の変位値

表 1 各々の温度パターンに対する曲率半径 (mm)

T110	T120	T140	TS
1145.73	1149.24	959.43	1134.91



(a) 温度パターン T140



(b) 温度パターン TS

図 3 各温度パターンに対する硬化度曲線